

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 103 24 065.9

Anmeldetag: 27. Mai 2003

Anmelder/Inhaber: TEXAS INSTRUMENTS DEUTSCHLAND GMBH,
85356 Freising/DE

Bezeichnung: Verfahren zur Herstellung eines integrierten Silizium-
Germanium-Heterobipolartransistors und ein integ-
rierter Silizium-Germanium-Heterobipolartransistor

IPC: H 01 L 21/331

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 16. März 2004
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

A handwritten signature in black ink, likely belonging to the President of the German Patent and Trademark Office.

PRINZ & PARTNER GbR

PATENTANWÄLTE
EUROPEAN PATENT ATTORNEYS
EUROPEAN TRADEMARK ATTORNEYS



Manzingerweg 7
D-81241 München
Tel.: + 49 89 89 69 8-0
Fax: + 49 89 89 69 8-211
Email: info@prinzundpartner.de

TEXAS INSTRUMENTS DEUTSCHLAND GMBH
Haggertystraße 1
85356 Freising

T10200 DE

Bj /Zg

27. Mai 2003

Verfahren zur Herstellung eines integrierten Silizium-Germanium-Heterobipolartransistors und ein integrierter Silizium-Germanium-Heterobipolartransistor

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines integrierten Silizium-Germanium-Heterobipolartransistors, bei dem zwischen einer
5 Silizium-Germanium-Basisschicht und einer Silizium-Emitterschicht eine Siliziumdioxidschicht gebildet wird. Die vorliegende Erfindung betrifft ferner einen integrierten Silizium-Germanium-Heterobipolartransistor, mit einer Silizium-Germanium-Basisschicht, einer Silizium-Emitterschicht und einer Siliziumdioxidschicht.

- 10 Silizium-Germanium-Heterobipolartransistoren, bei denen die Basisanschlüsse durch eine Silizium-Germanium-Schicht gebildet werden, weisen wesentlich höhere Grenzfrequenzen auf als Transistoren, die in einem konventionellen Verfahren hergestellt wurden, da durch das Einbringen von Germaniumatomen in die Basisschichten der Transistoren die Bandabstandsenergie verringert wird. Die
15 Silizium-Germanium-Basisschicht wird üblicherweise entweder mit Implantation oder wie die darüberliegende Emitterschicht in einem Epitaxieverfahren aufgebracht. Zwischen der Silizium-Germanium-Basisschicht und der Emitterschicht ist eine Siliziumdioxidschicht vorgesehen. Das Oxid der Siliziumdioxidschicht wird üblicherweise durch thermische Oxidation von Silizium in Rohröfen hergestellt.
20 Dabei werden Chargen von bis zu 200 Wafers gleichzeitig oxidiert. Die thermi-

sche Trägheit dieser Öfen bedingt eine lange Prozeßdauer, so daß die Wafer über eine relativ lange Zeit auf sehr hohen Temperaturen gehalten werden. Die elektronischen Eigenschaften der Bipolartransistoren werden unter anderem auch durch die Eigenschaften dieser Siliziumdioxidschicht bestimmt.

- 5 Die vorliegende Erfindung stellt ein Verfahren zur Herstellung eines integrierten Silizium-Germanium-Heterobipolartransistors bereit, das verbesserte Bauelementeigenschaften der hergestellten Silizium-Germanium-Heterobipolartransistoren gewährleistet.

- 10 Gemäß der Erfindung wird die Siliziumdioxidschicht mittels eines schnellen thermischen Prozesses gebildet. Bei einem schnellen thermischen Verfahren, einem sogenannten „Rapid Thermal Processing“ (RTP), werden einzelne Wafer unter Vakuum oder unter Schutzgasatmosphäre mittels mehrerer Hochleistungslampen innerhalb weniger Sekunden auf mehrere hundert Grad Celsius erhitzt und sehr schnell wieder abgekühlt. Ist der aufgeheizte Wafer einer sauerstoffhaltigen Atmosphäre ausgesetzt, kann eine Oxidschicht gebildet werden. Durch schnelle thermische Verfahren können im Vergleich zu dem herkömmlichen thermischen Oxidieren in Rohröfen dünnere, dichtere und glattere Oxidschichten gebildet werden. Silizium-Germanium-Bipolartransistoren, bei denen die Siliziumdioxidschicht zwischen der Basisschicht und der Emitterschicht mittels RTP ausgebildet wird, weisen größere Durchbruchspannungen und größere Stromverstärkungen als herkömmliche Silizium-Germanium-Bipolartransistoren auf.
- 15
20

- Bevorzugterweise werden die Siliziumdioxidschicht und die Emitterschicht mittels eines einzigen unterbrechungsfreien Prozesses gebildet. Da das Oxid gemäß der vorliegenden Erfindung mittels RTP ausgebildet wird, kann die Emitterschicht anschließend in derselben Vorrichtung in der benachbarten Kammer gebildet werden, ohne den Wafer in eine andere Vorrichtung befördern zu müssen. Hierdurch wird das Risiko von möglichen Verunreinigungen erheblich vermindert sowie die Prozeßzeit deutlich verkürzt.
- 25

Die vorliegende Erfindung stellt ferner einen integrierten Silizium-Germanium-Heterobipolartransistor bereit, der verbesserte Bauelementeeigenschaften aufweist.

5 Gemäß der Erfindung ist zu diesem Zweck zwischen der Silizium-Germanium-Basisschicht und der Silizium-Emitterschicht eine Siliziumdioxidschicht vorgesehen, die mittels eines schnellen thermischen Prozesses erhältlich ist. Die erfindungsgemäßen integrierten Silizium-Germanium-Heterobipolartransistoren weisen größere Durchbruchspannungen und größere Stromverstärkungen als Silizium-Germanium-Bipolartransistoren auf, die eine Siliziumdioxidschicht zwischen der Basis und dem Emitter aufweisen, die durch ein herkömmliches thermisches Oxidieren in Rohröfen erhältlich ist.

Bevorzugterweise ist der Silizium-Germanium-Heterobipolartransistor ein pnp-Silizium-Germanium-Heterobipolartransistor.

15 Weitere Merkmale und vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen.

Die Erfindung soll nachfolgend anhand eines bevorzugten Ausführungsbeispiels eines Verfahrens zur Herstellung eines integrierten Silizium-Germanium-Heterobipolartransistors erläutert werden.

20 Ein Wafer, auf dem schon eine Silizium-Germanium-Basisschicht für einen Heterobipolartransistor gebildet ist, wird über eine Transferkammer in eine Prozeßkammer, die sogenannte RTO-Kammer (Rapid Thermal Oxide) überführt. Beide Kammern wurden mit hochreinem Stickstoff geflutet und es herrscht in beiden Kammern ein Druck von in etwa 660 Pa . Befindet sich der Wafer in der RTO-Kammer, wird weiterer Stickstoff in die RTO-Kammer eingeleitet, bis in der 25 Kammer Normaldruck (101325 Pa) herrscht. In einem ersten Temperaturschritt wird der Wafer dann auf eine Temperatur zwischen 350°C und 500°C aufgeheizt. Danach wird der Wafer in einem zweiten Temperaturschritt relativ schnell auf 640°C aufgeheizt. Unter „relativ schnell“ werden Temperaturerhöhungen zwischen in etwa 40°C bis 100°C pro Sekunde verstanden. In einem dritten Tempera-

turschritt wird der Wafer anschließend relativ langsam auf eine Temperatur von 705°C aufgeheizt. Unter „relativ langsam“ werden Temperaturerhöhungen zwischen in etwa 10°C bis 40°C pro Sekunde verstanden. Die erreichte Temperatur von 705°C stellt die Prozeßtemperatur dar, bei der eine Siliziumdioxidschicht
5 gebildet werden soll. Dazu wird der Wafer in der Kammer für 10 Sekunden einer Sauerstoff-Stickstoff-Atmosphäre ausgesetzt. Das Sauerstoff-Stickstoff-Gemisch wird dazu bevorzugterweise durch 10 Gewichtsprozent Sauerstoff in Stickstoff gebildet. Anschließend wird der Wafer in einer hochreinen Stickstoffumgebung abgekühlt, und die Kammer wird bis zu einem Druck von 660 Pa abgepumpt. Der
10 Wafer wird dann von der RTO-Kammer über die Transferkammer, in der ebenfalls ein Druck von 660 Pa herrscht, in eine Abkühlkammer überführt. In der Abkühlkammer herrscht ebenfalls ein Druck von 660 Pa. Dort wird der Wafer während einer Dauer von 30 Sekunden abgekühlt. Anschließend wird der Wafer über eine Be- und Entladekammer entladen. Zum Überführen des Wafers von der Ab-
15 kühlkammer in die Be- und Entladekammer herrscht in der Be- und Entladekammer im wesentlichen der gleiche Druck wie in der Abkühlkammer. Befindet sich der Wafer dann in der Be- und Entladekammer, wobei diese dann gasdicht mittels eines Ventils gegenüber der Abkühlkammer verschlossen wird, wird die Be- und Entladekammer geöffnet, und der Wafer kann entnommen werden. Zum
20 Beladen der RTO-Kammer kann dann ein neuer Wafer in die Be- und Entladekammer eingebracht werden. Diese wird dann mit hochreinem Stickstoff geflutet und anschließend durch eine geeignete Pumpe bis zu dem Druck, der in der Überführungskammer herrscht, abgepumpt.

Die durch das oben beschriebene schnelle thermische Verfahren gebildete
25 Oxidschicht weist eine Dicke von etwa 0,35 nm auf.

Das beschriebene Verfahren zum Herstellen eines integrierten Silizium-Germanium-Heterobipolartransistors soll nur als ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel angesehen werden. Die Erfindung umfaßt auch mit anderen Prozeßtemperaturen und Drücken ausgeführte schnelle thermische Verfahren zum Herstellen einer
30 Siliziumdioxidschicht. Bevorzugterweise wird die Basisschicht dabei in mehreren

aufeinanderfolgenden Temperaturschritten auf eine Prozeßtemperatur aufgeheizt, bei der anschließend die Siliziumdioxidschicht gebildet wird.

Dabei ist es vorteilhaft, wenn die Eigenschaften der Siliziumdioxidschicht während des Wachsens mittels geeigneter Verfahren überwacht werden.

5 Gemäß eines bevorzugten Verfahrens wird im Anschluß an die Siliziumdioxidschicht in einer Prozeßkammer derselben Vorrichtung die Emitterschicht epitaktisch gebildet. Dadurch werden Kontaminationen an der freiliegenden Siliziumdioxid-Emitter-Grenzfläche vermieden. Die Emitterschicht kann beispielsweise aus polykristallinem Silizium gebildet werden.

10 Gemäß eines weiteren bevorzugten Verfahrens ist ferner vorgesehen, daß vor dem Aufbringen der Siliziumdioxidschicht in der RTO-Kammer in einer weiteren Kammer der gleichen Vorrichtung ein Vorreinigungsschritt durchgeführt wird. Mit dem Vorreinigungsschritt kann beispielsweise das während der Naßreinigung der Oberfläche der Silizium-Germanium-Basissschicht aufgewachsene Siliziumdioxid teilweise oder auch vollständig entfernt werden. Zum Vorreinigen kann der
15 Wafer für eine vorgegebene Zeit bei reduziertem Druck einer reduzierenden Atmosphäre, z.B. Wasserstoff, ausgesetzt werden. Da die Vorreinigung in der gleichen Vorrichtung wie das anschließende Aufbringen der sehr dünnen Siliziumdioxidschicht stattfindet, können Oberflächenverunreinigungen
20 vermieden bzw. verringert werden.

Durch schnelles thermisches Oxidieren können im Vergleich zu dem herkömmlichen thermischen Oxidieren in Rohröfen dünnere, dichtere und glattere Oxidschichten gebildet werden. Silizium-Germanium-Bipolartransistoren, bei denen die Siliziumdioxidschicht zwischen der Basissschicht und der Emitterschicht
25 mittels RTP ausgebildet wird, weisen größere Durchbruchspannungen und größere Stromverstärkungen auf als herkömmliche Silizium-Germanium-Bipolartransistoren, bei denen die Siliziumdioxidschicht durch herkömmliche thermische Oxidation in Rohröfen gebildet ist.

Das erfindungsgemäße Verfahren wird bevorzugterweise zum Herstellen von pnp-Silizium-Germanium-Heterobipolartransistoren angewandt.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines integrierten Silizium-Germanium-Heterobipolartransistors, bei dem zwischen einer Silizium-Germanium-Basissschicht und einer Silizium-Emitterschicht eine Siliziumdioxidschicht gebildet wird, dadurch gekennzeichnet, daß die Siliziumdioxidschicht mittels eines schnellen thermischen Prozesses gebildet wird.
5
2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die Siliziumdioxidschicht und die Emitterschicht mittels eines einzigen unterbrechungsfreien Prozesses gebildet werden.
10
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem die Basissschicht in mehreren aufeinanderfolgenden Temperaturschritten auf eine Prozesstemperatur aufgeheizt wird, bei der anschließend die Siliziumdioxidschicht gebildet wird.
15
4. Verfahren nach Anspruch 3, bei dem in einem ersten Temperaturschritt die Basissschicht auf eine Temperatur zwischen 350°C und 500°C aufgeheizt wird.
5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, bei dem die Basissschicht in einem zweiten Temperaturschritt auf in etwa 640 °C aufgeheizt wird.
20
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 5, bei dem die Basissschicht in einem dritten Temperaturschritt auf in etwa 705 °C aufgeheizt wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 6, bei dem die Basissschicht in einer Stickstoffumgebung aufgeheizt wird.
- 25 8. Verfahren nach Anspruch 7, bei dem hochreiner Stickstoff verwendet wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, bei dem die Basisschicht über einen Zeitraum von in etwa 10 Sekunden einem Sauerstoff-Stickstoff-Gemisch ausgesetzt ist.
- 5 10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Siliziumdioxidschicht eine Dicke zwischen 0,3 nm und 0,4 nm, vorzugsweise von etwa 0,35 nm aufweist.
11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem der Silizium-Germanium-Heterobipolartransistor ein pnp-Bipolartransistor ist.
- 10 12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem eine Emitterschicht aus Polysilizium gebildet wird.
13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Eigenschaften der Siliziumdioxidschicht während der Oxidation überwacht werden.
- 15 14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Oberfläche der Silizium-Germanium-Basisschicht vorgereinigt wird und anschließend in einem einzigen unterbrechungsfreien Prozeß die Siliziumdioxidschicht gebildet wird.
- 20 15. Integrierter Silizium-Germanium-Heterobipolartransistor, mit einer Silizium-Germanium-Basisschicht, einer Silizium-Emitterschicht und einer Siliziumdioxidschicht, die zwischen der Basisschicht und der Emitterschicht angeordnet ist, dadurch gekennzeichnet, dass die Siliziumdioxidschicht mittels eines schnellen thermischen Prozesses erhältlich ist.
- 25 16. Integrierter Silizium-Germanium-Heterobipolartransistor nach Anspruch 15, der ein pnp-Silizium-Germanium-Heterobipolartransistor ist.

Zusammenfassung

Verfahren zur Herstellung eines integrierten Silizium-Germanium-Heterobipolartransistors und ein integrierter Silizium-Germanium Heterobipolartransistor

- 5 In einem Verfahren zur Herstellung eines integrierten Silizium-Germanium-Heterobipolartransistors wird eine Siliziumdioxidschicht, die zwischen einer Silizium-Germanium-Basissschicht und einer Silizium-Emitterschicht angeordnet ist, mittels eines schnellen thermischen Prozesses gebildet. Dadurch werden verbesserte Bauelementeeigenschaften des integrierten Silizium-Germanium-Heterobipolartransistors gewährleistet.